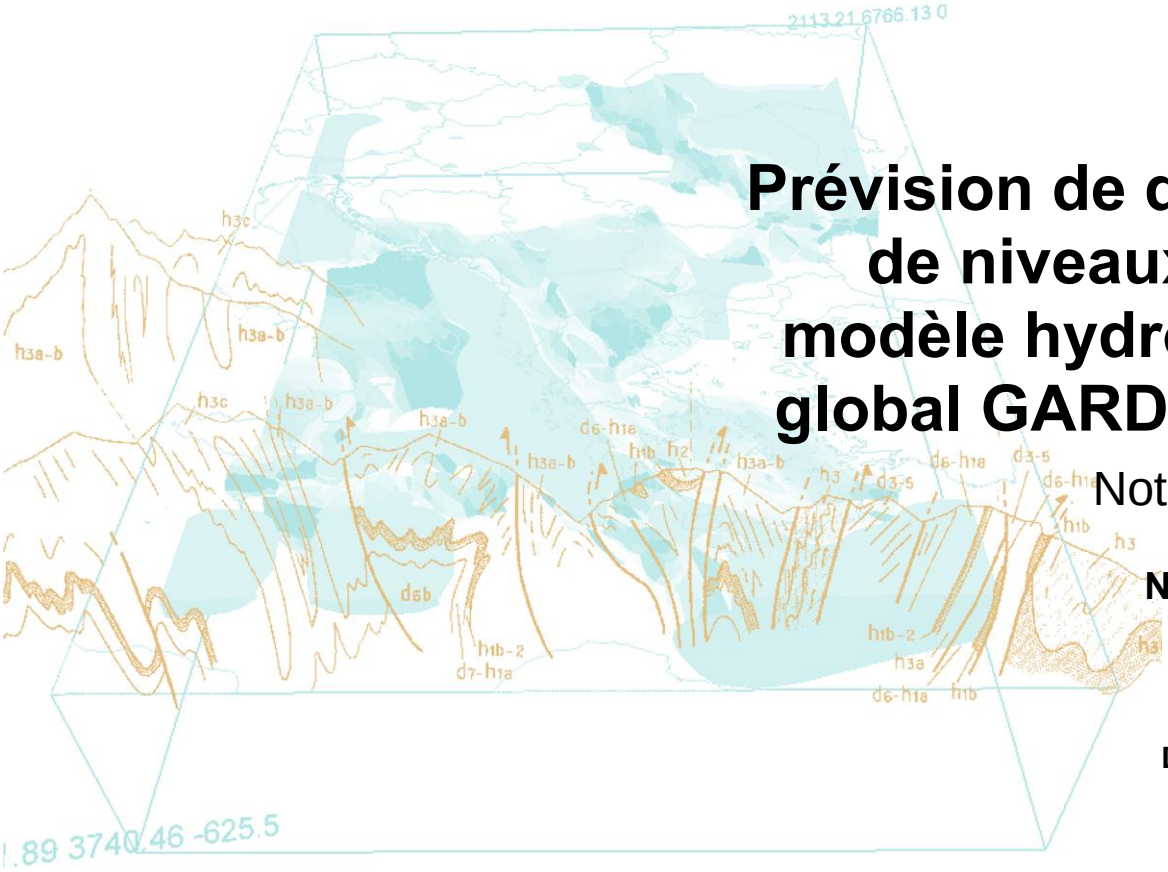
Document public



Prévision de débits ou de niveaux avec le modèle hydrologique global GARDÉNIA 6.5

Note technique

NT EAU 2004/02
mai 2004

Dominique THIÉRY

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Synthèse

Le code de calcul GARDÉNIA (modèle **G**lobal **A R**éservoirs pour la simulation des **DÉ**bits et des **NI**veaux **A**quifères) est un modèle hydrologique global de bassins versants.
À partir de la séquence des données météorologiques (précipitations, évapotranspiration potentielle) sur son bassin d'alimentation, il permet donc de simuler au choix :

- le débit à l'exutoire d'un cours d'eau (ou d'une source) ;
- le niveau en un point de la nappe libre sous jacente.

Des procédures adaptatives ont été introduites dans la version 6.5 de façon à lui permettre, en plus d'un fonctionnement en mode simulation, un fonctionnement en mode prévision.
Cette note est un complément au manuel d'utilisation de GARDÉNIA 6.0 (Thiéry 2003) qui présente la mise en œuvre pratique de l'émission de prévisions.

1 Introduction

Le modèle hydrologique global GARDÉNIA (Roche et Thiéry 1984, Thiéry 1988,2003) simule par une succession de réservoirs, les principaux mécanismes du cycle de l'eau dans un bassin versant (pluie, évapotranspiration, infiltration, écoulement).

Les transferts d'un réservoir à l'autre sont régis par des lois simples, qui sont particulières à chaque réservoir ; ces lois sont contrôlées par les paramètres des modèles (réserve utile, temps de transferts, seuils de débordement, etc.).
Ces paramètres ne peuvent être déduits a priori des caractéristiques physiographiques ponctuelles du bassin versant (géologie, couverture végétale, etc.) mais doivent être évalués par ajustement (calage) sur une série d'observations. Le calage (ou calibration) consiste à ajuster les paramètres du modèle de telle sorte qu'ils permettent de calculer des débits ou des niveaux piézométriques aussi proches que possible des débits ou des niveaux observés.
Une fois calé le modèle GARDÉNIA peut être utilisé en simulation :

- Extension de données :

A partir des observations climatiques il permet de calculer, pour un bassin versant donné, les débits d'une rivière ou d'une source, ou le niveau piézométrique en un point d'une nappe, durant une période pendant laquelle on ne possède pas de mesures.

- Simulation de scénarios :

Simulation de débits ou de niveaux piézométriques résultant de périodes de sécheresse (débits d'étiage ou dimensionnement de barrage) ou de séquences de précipitations exceptionnelles (dimensionnement de fondations, de parkings).

À cette possibilité de simulation, GARDÉNIA 6.5 ajoute la possibilité d'émission de prévisions :
Il est ainsi possible de prolonger une série de débits ou de niveaux piézométriques observés jusqu'à une certaine date à partir de des scénarios de précipitations prévisionnels pour les semaines ou mois futurs (sécheresses, périodes de hautes eaux).

2 Principes de la méthode de prévision

2.1 Calculs probabilistes à partir de scénarios

Les précipitations n'étant bien entendu pas connues après la date d'émission de la prévision, il est nécessaire de faire des hypothèses sur les précipitations futures. On pourrait être tenté de calculer des séquences de précipitations ayant une probabilité de non-dépassement définie et de s'en servir pour calculer des évolutions de débits ou de niveaux correspondantes. Une telle méthode serait totalement incorrecte pour plusieurs raisons :

- Le débit ou le niveau d'un jour ou d'un mois donné résulte le plus souvent des précipitations des 6 mois à 2 ans précédents et il y a une infinité de combinaisons de précipitations qui peuvent produire un même débit (par exemple un hiver très pluvieux suivi d'un printemps très sec, ou bien le contraire, ou bien un hiver moyen suivi d'un printemps moyen).
- Il n'est pas possible de définir une période de 3 mois, 6 mois ou 1 an ayant une probabilité d'occurrence donnée : on peut définir un volume cumulé de pluie pendant 6 mois ayant une probabilité donnée mais il y a une infinité de répartitions possibles.
- Un cumul de pluie de probabilité donnée ne produira pas un débit de la même probabilité car la transformation n'est pas linéaire : le résultat n'est pas le même si les précipitations surviennent en hiver (faible évapotranspiration) ou en été (forte évaporation, pluies peu efficaces), de même si les précipitations sont concentrées en 5 jours (fort ruissellement) ou en 5 mois (forte infiltration)
- Dans tous les cas il faut bien se souvenir qu'une année ayant un cumul de temps de retour 10 ans (probabilité de non-dépassement 90 %) n'est certainement pas une année

ayant chaque mois un cumul de précipitation de temps de retour 10 ans. Une telle année aurait certainement un temps de retour plus proche de 100 ans !

Compte tenu de ces remarques la méthode de prévision est la suivante :

- On rassemble un certain nombre d'années de précipitations réellement observées, de l'ordre de 30 à 50 ans si possible (par exemple les années 1951 à 2000 mais il n'est pas nécessaire d'avoir des années contiguës).
- On suppose qu'après la date d'émission de la prévision (le 1er septembre 2003 par exemple) les précipitations des 4 mois suivants (septembre à décembre) ont une égale probabilité d'être les précipitations des mois de septembre à décembre de 1951 ou 1952 etc. ou 2000.
- A partir des états du modèle (niveaux de ses réservoirs), GARDÉNIA réalise une simulation par année de précipitations disponible (50 scénarios dans notre exemple correspondant aux 50 années de précipitations).
- On dispose alors de 50 débits calculés pour le 2 septembre, de 50 débits calculés pour le 3 septembre … 50 débits calculés pour le 31 décembre.
- Pour un jour donné on dispose donc de 50 réalisations et GARDÉNIA calcule le débit de probabilité de non-dépassement X % en classant tout simplement les 50 réalisations et en calculant le quantile X %. Ce calcul est fait séparément pour chaque pas de temps (pour chacun des 120 jours de la période du 2 septembre au 31 décembre dans notre exemple).
- Pour une probabilité de non-dépassement donnée (de 90 % par exemple) on dispose chaque jour d'un débit (qui correspond à des années différentes). GARDÉNIA édite alors ces débits et les dessine. Ce sont des débits probabilistes.
- La courbe tracée donne pour chaque jour le débit ayant une probabilité de non-dépassement donnée (de 90 % dans notre exemple)
- GARDÉNIA réalise également une prévision sans aucune précipitation après la date d'émission de la prévision. Cette prévision donne les débits correspondant à la « prévision garantie ».

2.2 Correction des écarts en début de simulation

Pour calculer les débits ou les niveaux de nappe à partir d'une certaine date il faut, en simulation comme en prévision, démarrer les calculs largement avant cette date pour permettre l'initialisation des niveaux des réservoirs du modèle.
Si le calage est satisfaisant, le modèle permet généralement de reproduire correctement le fonctionnement d'un bassin versant à partir des précipitations et de l'Évapotranspiration potentielle. Cependant bien que le modèle soit calé on observe à certaines périodes des écarts de simulation qui peuvent être dus à plusieurs raisons :

- Les précipitations ne sont pas parfaitement connues ou pas homogènes sur tout le bassin.
- Le fonctionnement du bassin est plus complexe que sa schématisation par le modèle. (Le tarissement n'est pas parfaitement exponentiel, la notion de réserve utile en « tout ou rien » est une simplification de la réalité etc.)

De tels écarts en nombre limité ne posent pas de problèmes, cependant ils sont plus gênants s'ils se produisent au moment de l'émission de la prévision.
La différence essentielle entre une simulation et une émission de prévision est en effet la suivante :

- Dans une opération de simulation un écart de simulation au début de la période d'extension ne pose pas de problème car le but est d'obtenir une simulation statistiquement proche de vraies valeurs.

- Dans une opération de prévision, la situation est différente puisqu'on connaît exactement le débit ou le niveau de nappe à la date d'émission et le but est en fait de prévoir la variation par rapport à la dernière situation connue. Par exemple si la valeur observée le jour de l'émission est égale à 100 et si la valeur simulée est égale à 115 et décroît jusqu'à 105 dans les 30 jours suivants l'émission : On ne sait pas comment interpréter la prévision. Sachant que la dernière observation est égale à 100 : est-ce que la valeur dans 30 jours sera 105 comme calculé (soit une augmentation de +5) ou bien de 90 (soit une diminution de 10 … comme prévu.)

Pour émettre une prévision fiable et utilisable il est donc nécessaire de minimiser au mieux l'écart de simulation initial. En fait pour obtenir des résultats fiables le modèle ne corrige pas uniquement l'écart initial mais corrige régulièrement les éventuels écarts précédant l'émission de la prévision, au fur et à mesure qu'ils apparaissent.
Les écarts de simulation sont réduits par une procédure adaptative qui permet de très légèrement corriger les niveaux des réservoirs du modèle de façon à se rapprocher de manière optimale des débits ou niveaux piézométriques observés. En pratique le modèle calcule de combien il faudrait corriger le niveau des réservoirs en début du pas de temps pour avoir une simulation exacte en fin de pas de temps. Comme il n'y a pas de solution unique, car on pourrait corriger davantage le réservoir intermédiaire ou davantage le réservoir souterrain, le modèle considère qu'il est plus sûr de corriger davantage un réservoir qui a de plus grandes variations d'alimentation. La correction est donc proportionnelle à l'écart-type des alimentations de chaque réservoir. L'amplitude des corrections est déterminée par modélisation inverse.
Dans certains cas il pourrait être dangereux de corriger les niveaux de façon à reproduire exactement les observations de débits. Par exemple si les mesures de débits sont imprécises ou perturbées. Le modèle ne corrige donc pas à 100 % les écarts observés mais applique à chaque pas de temps un « taux de correction » inférieur à 100 % (par exemple 10% ou 60 %) Si l'écart persiste, il sera corrigé quasiment totalement en quelques pas de temps.
Le taux de correction optimal est déterminé par essais / erreurs en émettant une prévision à chaque pas de temps de la période d'observation et en comparant les prévisions émises avec les réalisations.

3 Données nécessaires

Pour réaliser un calcul de prévision il faut disposer des mêmes données que pour réaliser un calcul de simulation. Il faut en outre pour la génération des scénarios, disposer :

- d'un fichier de données pluviométriques de prévision (fichier [.prv]). Ce sont des données pluviométriques au même pas de temps que les données de pluies utilisées pour la modélisation (fichier [.plu]). Le fichier des données de pluies_prévision [.prv] devra généralement comporter un plus grand nombre d'années que le fichier [.plu] de façon à permettre le calcul d'un grand nombre de scénarios. Les données de ces années de prévisions devront toutes être complètes, sans valeurs manquantes.
- d'un fichier de températures de prévision (fichier [.tem]) : uniquement dans les cas où on prend en compte la fonte de la neige. Le fichier de températures de prévision doit avoir le même nombre d'années que le fichier de pluies_prévision

Compte tenu de la faible variabilité inter-annuelle de cette donnée, GARDÉNIA 6.5 n'utilise pas de fichier d'évapotranspiration ETP de prévision. Pendant la période de prévision, après la date d'émission, le modèle utilise pour chaque pas de temps la moyenne des ETP observées pour ce pas au cours de toutes les années de données de la période de simulation.

4 Mise en œuvre d'une prévision

4.1 Enchaînement des opérations

Pour réaliser une prévision sur un nouveau site Il y a trois étapes à réaliser :

- Étape 0 : calage des paramètres modèle. Cette étape est identique à celle qui est réalisée quand on cale le modèle pour réaliser une simulation.
- Étape 1 : Préparation de la prévision. Cette étape calcule les écarts-types des alimentations des réservoirs du modèle et calcule un « taux de correction » optimal en fonction de la portée de la prévision. Ce taux de correction peut cependant être modifié par l'utilisateur selon son choix.
- Étape 2 : Émission de la prévision : il suffit de préciser la date d'émission de la prévision (et la portée de la prévision).

En pratique il suffit donc de réaliser une fois pour toute les étapes 0 et 1. On obtient alors un fichier de paramètres prêt à émettre des prévisions.
Pour émettre une nouvelle prévision il suffit alors de mettre à jour les fichiers d'observations et de données climatiques jusqu'à la date d'émission de la prévision. La prévision est alors réalisée immédiatement.

Remarque : Si on n'a pas réalisé l'étape n°1 de préparation elle sera réalisée automatiquement avant l'étape n°2 mais on ne pourra alors pas modifier le taux de correction.

L'enchaînement des opérations est le suivant :

- On réalise d'abord un calage classique (étape 0) comme décrit dans le manuel d'utilisation. Il est en général nécessaire de procéder par essais on fixant des bornes pour les paramètres hydrologiques etc. A chaque simulation le logiciel génère un fichier de paramètres de nom « crepara.out ». Si on est satisfait de ces paramètres on conserve ce fichier en le renommant.
- Quand on est satisfait du calage on réalise un passage avec l'étape 1 qui calcule le taux de correction optimal. Un fichier de paramètres de nom « crepara.out » est généré à la fin de cette étape 1. Ce fichier contient les écarts-types des alimentations et le taux de correction calculé. On conserve alors ce fichier en le renommant.
- On peut alors réaliser des prévisions directement. Il est possible de modifier en conversationnel le taux de correction.

4.2 Étape 1 : préparation de la prévision

Dans le paragraphe « Options » Il faut définir le numéro de l'étape : voir figure ci-dessous.
Dans le paragraphe « paramètres généraux il faut définir :

- Le nombre d'années de données pour la prévision. C'est le nombre d'années de données de pluies de prévisions (fichier [*.prv]) : dans l'exemple : 42 années
- Le jour d'émission de la prévision (seulement si on utilise un pas de temps journalier, sinon laisser 0 par défaut) : dans l'exemple présenté : le 1er
- Le mois d'émission de la prévision : dans l'exemple présenté le mois 9 c'est à dire septembre. Si on utilise un pas de temps décadaire (ou pentadaire) on indique le numéro du pas dans l'année (par exemple 8 pour la 8ème décade de l'année (2ème décade de mars).
- La portée de la prévision c'est à dire le nombre de pas de temps de prévision : dans l'exemple présenté 120 jours de prévision.

Au cours de cette étape le modèle calcule les écarts-types des alimentations des réservoirs du modèle ainsi que le « taux de correction » optimal. Il convient de noter que ce taux correction optimal dépend de la portée de la prévision. A priori, plus la portée de la prévision est grande, plus le taux de correction aura tendance à être faible, d'une part parce que l'influence d'un écart en début de prévision est moins pénalisant et d'autre part parce qu'une correction trop forte pourrait avoir des conséquences négatives.
Le taux de correction optimisé par le modèle n'est qu'une proposition qui peut être modifiée par l'utilisateur selon son choix.

A l'issue de cette étape 1 une prévision est émise avec les paramètres optimaux.

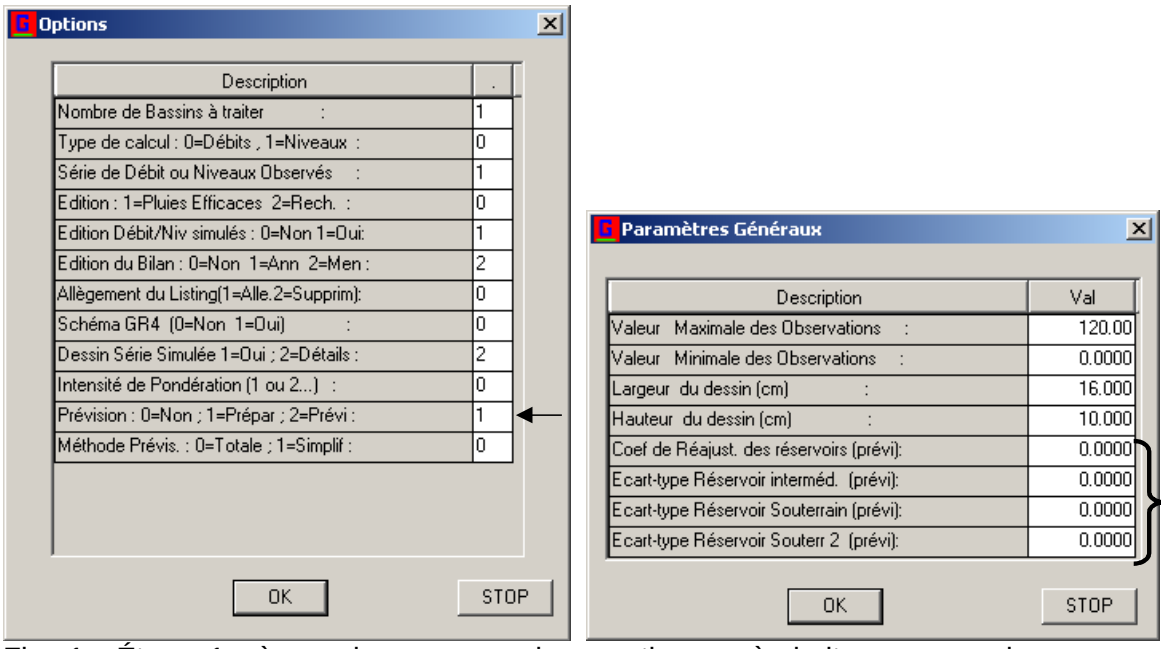

Options
Description
.
Nombre de Bassins à traiter : 1
Type de calcul : 0=Débits , 1=Niveaux : 0
Série de Débit ou Niveaux Observés : 1
Edition : 1=Pluies Efficaces 2=Rech. : 0
Edition Débit/Niv simulés : 0=Non 1=Oui: 1
Edition du Bilan : 0=Non 1=Ann 2=Men : 2
Allègement du Listing(1=Alle.2=Supprim): 0
Schéma GR4 (0=Non 1=Oui) : 0
Dessin Série Simulée 1=Oui ; 2=Détails : 2
Intensité de Pondération (1 ou 2...) : 0
Prévision : 0=Non ; 1=Prépar ; 2=Prévi : 1
Méthode Prévis. : 0=Totale ; 1=Simplif : 0
OK
STOP
Paramètres Généraux
Description
Val
Valeur Maximale des Observations : 120.00
Valeur Minimale des Observations : 0.0000
Largeur du dessin (cm) : 16.000
Hauteur du dessin (cm) : 10.000
Coef de Réajust. des réservoirs (prévi): 0.0000
Ecart-type Réservoir interméd. (prévi): 0.0000
Ecart-type Réservoir Souterrain (prévi): 0.0000
Ecart-type Réservoir Souterr 2 (prévi): 0.0000
OK
STOP

Fig. 1 : Étape 1 : à gauche : paragraphe « options », à droite : paragraphe « paramètre généraux 1» : (écarts-types, taux de correction laissées à 0 par défaut)

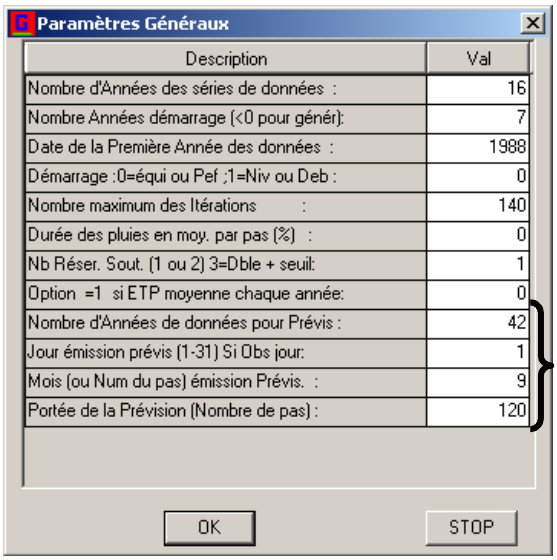

Paramètres Généraux
Description
Val
Nombre d'Années des séries de données : 16
Nombre Années démarrage (<0 pour génér): 7
Date de la Première Année des données : 1988
Démarrage :0=équi ou Pef ;1=Niv ou Deb : 0
Nombre maximum des Itérations : 140
Durée des pluies en moy. par pas (%) : 0
Nb Réser. Sout. (1 ou 2) 3=Dble + seuil: 1
Option =1 si ETP moyenne chaque année: 0
Nombre d'Années de données pour Prévis : 42
Jour émission prévis (1-31) Si Obs jour: 1
Mois (ou Num du pas) émission Prévis. : 9
Portée de la Prévision (Nombre de pas) : 120
OK
STOP

Fig. 2 : Étape 1 : paragraphe « paramètre généraux 2» : 42 années de prévision, émission de la prévision la dernière année (16ème année) le 1 septembre sur 120 pas.

4.3 Étape 2 : émission de la prévision

A l'issue de l'étape 1 un fichier de paramètres contenant les écarts types des alimentations des réservoirs et le taux de corrections calculé. Il est possible de modifier le taux de correction en l'augmentant par exemple si la correction en début d'émission n'est pas jugée satisfaisante.

On réalise alors directement un calcul de prévision. Dans le paragraphe « Options » on définit le numéro d'étape = 2 au lieu de 1.
On voit apparaître le paragraphe « Paramètres Généraux 1» (voir figure 4) avec les écarts-types des alimentations des réservoirs (2.76 mm/j et 0.089 mm/j) et surtout le taux de correction égal à 0.04 (soit 4 %)

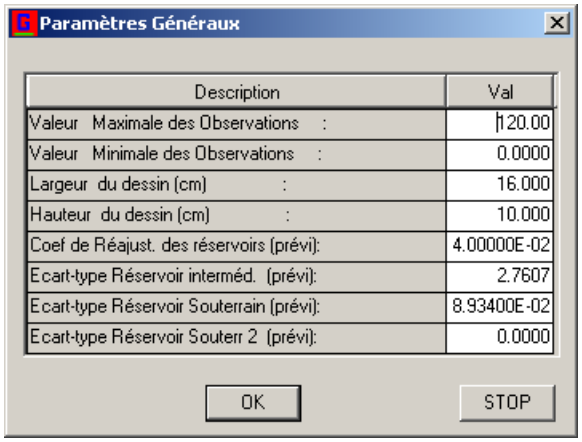


Fig. 3 : Étape 2 : paragraphe « paramètre généraux 1» présentant les écarts-types calculés et le taux de correction proposé

On peut par exemple augmenter légèrement le taux de correction en le faisant passer à 0.1 (10 %) ce qui permet d'obtenir une très simulation le jour d'émission de la prévision, le 1er septembre.

5 Résultats produits par le logiciel

A l'issue de l'émission d'une prévision un fichier de nom « creasim.prn » pouvant être importé sous Excel (séparateur = tabulations) est généré. Ce fichier permet de représenter graphiquement les simulations et prévisions.

La figure 4 produite avec Excel présente la simulation des débits de la Somme à Abbeville à l'issue du calage : fin de l'étape 0. C'est une simulation pure.

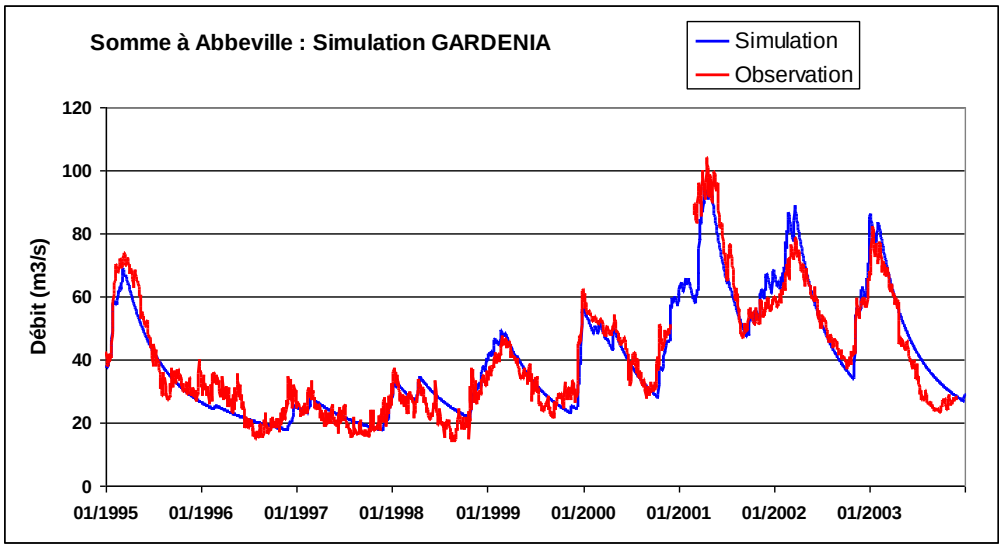


Fig 4 : Simulation du débit de la Somme à Abbeville sur la période 1995-2003 (sans aucune réadaptation)

La figure 5 présente une prévision émise le 1er septembre 2003 avec un taux de correction égal à 10 %. La légende des courbes s'interprète comme suit :

- Observ. = Série des débits journaliers observés
- Simul. = Série des débits journaliers simulés jusqu'à la date d'émission de la simulation. En fait il ne s'agit pas réellement d'une « simulation » mais d'une simulation réadaptée
- Prév_Garan = Prévision « garantie » : c'est à dire réalisée en considérant qu'aucune précipitation ne surviendra après la date d'émission de la prévision. Ce sont les débits simulés les plus bas possibles, d'où le terme de « garanti ». Tout modèle étant approché, il ne faut pas considérer les valeurs calculées comme garanties à 100 %
- Prév_10 % = Prévision ayant une probabilité de non-dépassement de 10 %, c'est à dire que pour chaque pas de temps on a une probabilité de 10 % d'observer un débit inférieur (donc une probabilité de 90 % d'observer un débit supérieur ou égal.)
- Prév_50 % = Prévision ayant une probabilité de non-dépassement de 50 %, c'est la valeur médiane.
- Prév_90 % = Prévision ayant une probabilité de non-dépassement de 90 %, c'est à dire que pour chaque pas de temps on a une probabilité de 90 % d'observer un débit inférieur (donc une probabilité de 10 % d'observer un débit supérieur ou égal.)
- Prév_X % = Prévision ayant une probabilité de non-dépassement de X %

On voit dans l'exemple que la réalisation (observée réellement après le 1er septembre 2003) est proche de la courbe médiane (Prév_50 %)

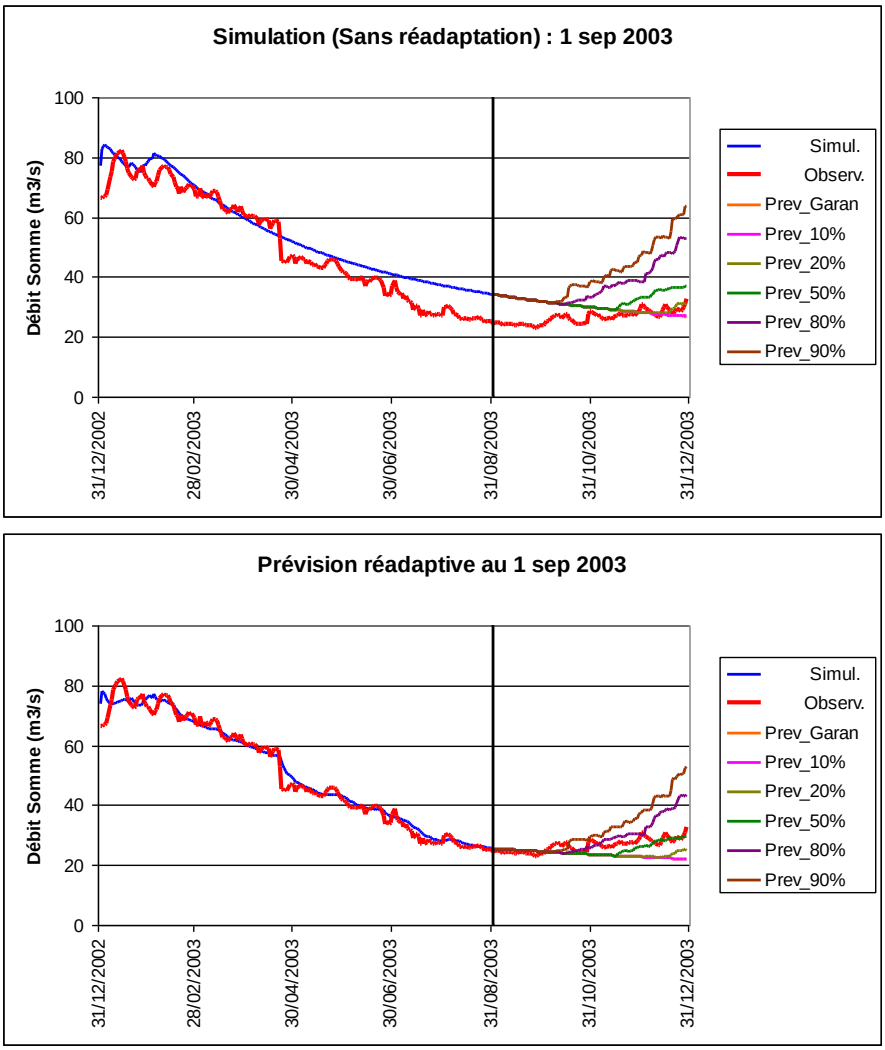


Fig 5 : Prévision au 1er sep 2003 : en haut : simulation, en bas prévision adaptativ

6 Précautions

6.1 Terminologie

Il convient d'être précis dans la terminologie adoptée. Il ne faut pas confondre une simulation pure sans corrections (figure 4) qui permet d'apprécier la qualité du calage, et une « simulation réadaptée » (figure 6) qui est généralement très proche des observations et permet d'apprécier … la qualité de la méthode adaptative. Il convient d'être prudent car on pourrait arriver à des résultats sans aucun sens et sans aucune fiabilité. Par exemple si on utilise un modèle absolument pas calé (très mauvaise simulation pure), avec des tarissements très rapides. On pourrait, avec un coefficient de correction égal à 100 % obtenir une très bonne « simulation réadaptée » qui serait totalement illusoire : à chaque pas de temps le modèle corrige largement ses niveaux de réservoirs. Une prévision réalisée avec un tel modèle serait extrêmement mauvaise car bien entendu les corrections peuvent être effectuées uniquement jusqu'à la date d'émission (puisqu'on ne connaît pas les observations après cette date)

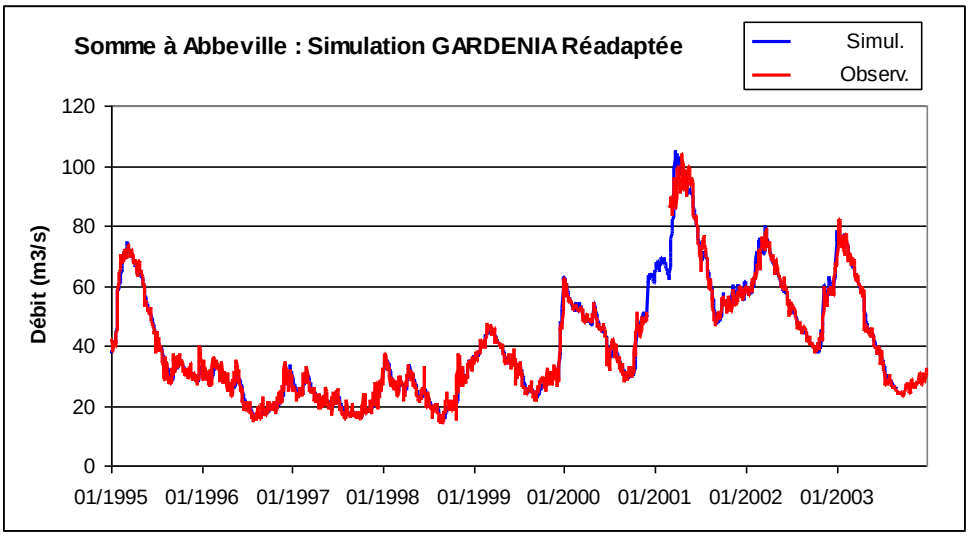


Fig 6 : Simulation réadaptée du débit de la Somme à Abbeville sur la période 1995-2003 : Attention ce n'est pas une simulation

6.2 Taux de correction

Compte tenu des remarques précédentes, Il est donc conseillé d'essayer d'utiliser le taux de correction le plus faible possible compatible avec un réajustement correct en début de simulation. Quand on utilise un pas de temps fin, un pas de temps journalier l'utilisation d'un faible taux de correction n'est pas pénalisante car si la correction est insuffisante elle sera poursuivie dans les quelques jours suivants. Dans l'exemple présenté on voit qu'une correction de 10 % permet un réajustement tout à fait satisfaisant des états du modèle.

6.3 Nombre d'années de prévision

Les probabilités de non-dépassement sont calculées à partir des différents scénarios simulés (un scénario par année de précipitations de prévision). Il faut donc utiliser un nombre d'années de prévision suffisant. Pour calculer un débit de probabilité de non-dépassement de 90 % il faut disposer d'au moins 30 ou 40 années surtout si la période contient des

années exceptionnelles ou perturbées. On donne dans le tableau ci-dessous le rang de l'année qui correspond à une de probabilité de non-dépassement de 90 % :

Rang pour une probabilité de 90 %			
Nombre d'années de prévision	20	30	40
Rang (à partir de la valeur la plus grande)	3	4	5

Le tableau montre que si on ne dispose que de 20 années la valeur ayant une de probabilité de non dépassement de 90 % est mal définie puisqu'elle correspond à la 3ème plus grande valeur. Elle est peut donc être très influencée par l'introduction d'une année en plus ou en moins.

7 Limitations

- GARDÉNIA 6.5 permet un réajustement des niveaux uniquement avec le schéma « Gardénia » mais pas avec le schéma GR4 (ce qui pourra être envisagé dans des versions ultérieures)
- En mode prévision il n'est pas possible d'utiliser un « démarrage en équilibre » avec la pluie efficace moyenne. Il suffit alors d'introduire dans le fichier des paramètres la pluie efficace moyenne calculée (dont la valeur est reportée dans le fichier « crealis.txt »)

8 Compatibilité

Il y a une compatibilité ascendante : GARDÉNIA 6.5 peut lire les fichiers projet [.rga] et les fichiers paramètres [.gar] générés par les versions antérieures. Par contre les nouveaux fichiers générés par GARDÉNIA 6.5 ne peuvent pas être lus par les versions antérieures.
La compatibilité ascendante n'est pas tout à fait possible pour les projets prenant en compte la fonte de la neige. Les anciens fichiers projet [.rga] ne sont pas utilisables mais il est très facile de les régénérer par importation des fichiers. Les fichiers paramètres [.gar] nettement plus volumineux sont eux tout à fait compatibles.

Références bibliographiques

Roche P.A., Thiéry D. (1984) – Simulation globale de bassins hydrologiques. Introduction à la modélisation et description du modèle GARDÉNIA. Rap. BRGM 84 SGN 337 EAU.

Thiéry D. (2013) - Didacticiel du code de calcul Gardénia v8.1. Vos premières modélisations. Rapport BRGM/RP-61720-FR, 127 p., 93 fig.
http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61720-FR.pdf. *Accès Juillet 2013*.

Thiéry D. (2013) - Logiciel GARDÉNIA, version 8.2. Guide d'utilisation. BRGM/RP-XXXXX-FR, 112 p., 41 fig., 2 ann. *À paraître Octobre 2013*.

Thiéry, D. (2009) – Modèles à réservoirs en hydrogéologie. *in Traité d'hydraulique environnementale - Volume 4 - Modèles mathématiques en hydraulique maritime et modèles de transport*. Tanguy J.M. (Ed.) - Éditions Hermès - Lavoisier. Chapitre 7 pp. 239-249. ISBN 978-2-7462-2006-5.

Thiéry, D. (2003) - Logiciel GARDÉNIA version 6.0 - Guide d'utilisation. Rapport BRGM/RP-52832-FR, 102 p., 42 fig., 3 ann.
http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-52832-FR.pdf (*Accès Juillet 2013*.)

Thiéry D. (1988) – Forecast of changes in piezometric levels by a lumped hydrological model. Journal of Hydrology 97 (1988), pp. 129-148.